

基于水动力数值模型的港口规划累积影响评价

方秦华 张珞平 江毓武 杨喜爱 洪华生

(厦门大学近海海洋环境科学国家重点实验室,厦门大学环境科学研究中心,福建 厦门 361005)

摘要 累积影响评价是战略环境评价的主要方法和重要内容之一,但目前还缺乏通用的评价程序和方法。通过识别港口规划的累积影响源和途径,建立了基于水动力数值模型的累积影响评价的量化评估和分析框架。以厦门港嵩屿港区规划为例,通过对海湾纳潮量及各敏感点流速的模拟,计算淤积量及其分布变化,进而推测海域水质和底质变化,并分析了由此引起的海洋生物群落的变化趋势。通过比较不同岸线方案的累积影响,为港区岸线优选提供了科学判据。实践表明,该方法框架综合运用定量预测和定性分析手段,其结果能为港口规划的战略环境评价提供科学依据。

关键词 港口规划 累积影响评价 数值模型 厦门

A case study of cumulative effects assessment for harbor planning in China Fang Qinhu, Zhang Luoping, Jiang Yuru, Yang Xiai, Hong Huasheng. (State Key Laboratory for Marine Environmental Science, Environmental Science Research Center, Xiamen University, Xiamen Fujian 361005)

Abstract: Cumulative effects assessment (CES) has become an important approach and also a key component of the strategic environmental assessment due to the increased recognition that most significant environmental changes are results of combined effects of many individual impact factors. Analyzing combined environmental effects is simple in principle but difficult in practice due to a lack of simple and effective CES methods and procedures. The paper presents a case of CIE for the harbor planning project for Songyu Port in Xiamen, China. Major sources and pathways of the environmental impact factors were first identified and evaluated, and, using a custom hydrodynamic model, numerical simulations were then performed to quantify their cumulative effects on changes of tidal prism and flow velocities at select locations, siltation, water quality parameters (COD, N & P concentrations), and the ecosystem in the area of interest. The cumulative effects were estimated for harbor planning alternatives for selection of the best. The results of CES for the Xiamen project have demonstrated its benefits in providing essential information for the strategic environmental assessment as well as a scientific basis for selection of the best alternative for a harbor planning project.

Keywords: Harbor planning Cumulative effects assessment Numerical hydrodynamic model Xiamen

累积影响是指“当一项行动与其他过去、现在和可以合理预见的将来的行动叠加在一起时所产生的环境效应增加的影响”^[1,2]。累积影响评价,一般也称累积效应评价(Cumulative Effects Assessment, CEA),是指系统地分析和评估累积影响的过程。CEA一般从因果关系这一概念模型入手,该模型由累积影响源、累积影响途径和累积影响类型3部分构成^[3-5]。CEA的过程至少应包括累积环境影响的识别、累积效应预测、累积影响评价和规划方案的调整与选择等4个步骤^[6]。

事实证明,严重的环境后果并非产生于单一行为的直接影响,更多地源于战略行为在大尺度范围内的累积效应^[7],因此CEA成为战略环境评价的主要方法和重要内容之一^[8]。以港口建设为例,项目环境影响评价仅考虑单个项目(只有少数几个泊位)直接地、即时地影响及其在某一具体地点的局部效

应,而无法充分反映总体环境所受的真实影响,包括与其他项目累加的、长期的影响及其对整个海域间接的、累积的影响。

尽管当前累积影响的重要性已经得到认可,CEA的理论框架也较为明晰,但仍然还缺乏广泛适用的技术方法框架。笔者以厦门港嵩屿港区规划为例,建立了港区规划的累积影响评价框架,探讨了CEA的量化评估及定性分析方法。

1 港区规划 CEA 的框架与方法

1.1 港区规划概况

嵩屿国际集装箱中转港区地处厦门湾海域,是厦门港的一部分(图1)。港区西侧为嵩屿电厂及配套煤码头,北侧为白鹭自然保护核心区大屿岛,东侧隔嵩鼓水道与国家级风景名胜区鼓浪屿相望,南面向海对岸为漳州招银港区,港区所在海域紧邻中华

第一作者:方秦华,男,1975年生,博士研究生,讲师,主要研究海岸带可持续发展。

白海豚自然保护区。该港区地处西海域、河口湾和外港交界的岬角,地理位置特殊、敏感。

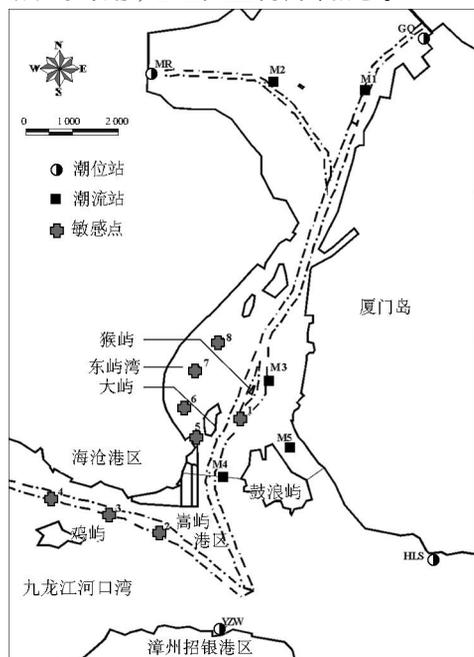


图1 规划港区位置

规划单位交通部规划研究院于2003年6月提出了二组六个岸线方案(图1),委托南京水利科学研究院进行了物理模型试验,其中方案一至方案三为不

保留博坦码头方案,方案四至方案六为保留博坦码头方案,此3方案依次相距约100m。物理模型试验的结果推荐方案二和方案五,评价单位在此基础上增加方案四(可能的替代方案)及一期工程(港区南岸线4个10万t级集装箱泊位),开展环境影响评价工作。

1.2 CEA 框架模型

不同岸线方案对海域影响重大,因此港区环境影响的重点在海域,影响类型以累积影响为主。港口规划建设一般通过填海造地直接占用海域空间,同时增加泥沙、石油类和营养盐等入海污染物,增加海上船舶活动,以及改变陆地土地覆盖。根据港口规划建设活动的类型和特征,其累积影响源和途径可以识别如图2所示。其中以海域空间占用这一永久性不可逆的影响为例,一方面造成工程所在海域底栖生物及其生境的直接丧失;另一方面改变整个海湾的水动力条件,即引起纳潮量减少,从而使污染物扩散净化能力减弱,海域水环境容量降低,水体污染负荷加重,导致海域水质和底质下降;另外,港口建设还引起海水流速和潮流改变,使海域沉积物类型发生变化。上述因素导致海洋生物(包括底栖生物、浮游植物和游泳生物)的种群发生变动,包括种类组成和群落结构的改变。

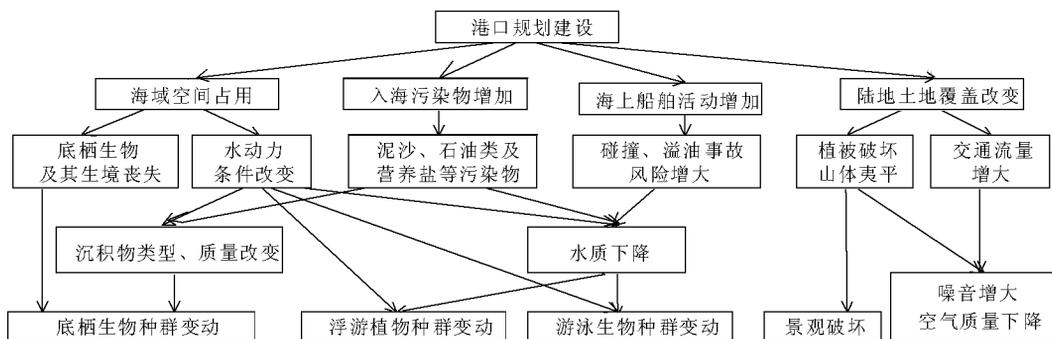


图2 港口规划的累积影响因果网络

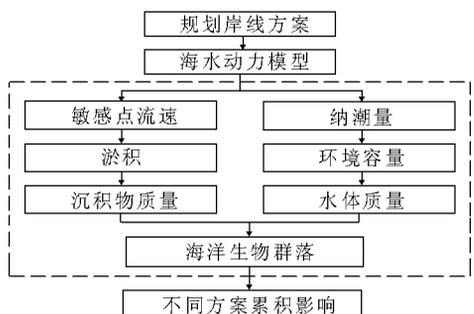


图3 港口规划海域 CEA 技术路线

1.3 港口规划 CEA 的技术路线与方法

本文以海域环境 CEA 为重点,故陆域环境累积影响不列入研究内容。构建了港口规划的海域 CEA 的技术路线(图3)。该技术路线以水动力模

型为量化评估累积影响的基础和核心,计算海湾各敏感点的流速及其纳潮量,在此基础上,计算淤积量及分布变化,从而对海域底质和水质变化进行推测,分析由此引起的海洋生物群落的结构组成的变化,对不同规划岸线方案的累积影响进行比较判断,最终为岸线方案的优选提供依据。

1.4 水动力模型简介

评价采用三维并行计算有限元数学模型,采用有限元法对流体动力学方程进行离散求解,所用离散方程均为隐式结构,模型具有较强的稳定性,保证了网格在很小的情况下仍能采用较长的时间步长进行计算,提高模型计算效率。模型采用具有二次精度的六节点三角形单元及相应形行数,既保证模型的

表 1 大、中、小潮西海域纳潮量变化

方案	大潮				中潮				小潮			
	涨潮/10 ⁶ m ³	增量/%	落潮/10 ⁶ m ³	增量/%	涨潮/10 ⁶ m ³	增量/%	落潮/10 ⁶ m ³	增量/%	涨潮/10 ⁶ m ³	增量/%	落潮/10 ⁶ m ³	增量/%
现状	443.6		436.7		348.9		342		250.7		249	
一期	442.9	-0.16	438.2	+0.34	348.3	-0.17	342.6	+0.18	250.4	-0.12	249.1	+0.04
方案五	437.9	-1.28	432.1	-1.05	344.5	-1.26	337.9	-1.20	247.4	-1.32	245.2	-1.53
方案二	435.7	-1.78	432.5	-0.96	342.7	-1.78	337.8	-1.23	246.5	-1.68	245.1	-1.57
方案四	440.7	-0.65	435.5	-0.27	347.5	-0.40	339.8	-0.64	249.3	-0.56	246.5	-1.00

精度,又使得它能充分利用灵活的三角形单元对复杂岸线进行充分的拟合。作为三维模型,模型在垂向采用 坐标,保证计算区域具有相同的垂向分辨率。同时本模型找到了解决 坐标下模拟浅滩干出及被淹的理想方法,以模拟象厦门港这样具有大面积滩涂的港湾区域^[9]。为了更好地模拟海水的垂向分层结构,模型考虑了由于盐度、温度不均匀分布引起的斜压作用并引入了二阶半紊流闭合模型。模型采用的基本方程及其求解,以及模型应用于嵩屿港区规划环境影响评价过程中的模型网格、边界条件的设定和模型验证的说明与详细结果见文献[10]。

2 计算结果

2.1 数值模拟结果

数值计算模拟了现状、一期工程、方案二、方案五、方案四的岸线在大、中、小潮时期,引起西海域的纳潮量、嵩鼓/厦鼓分流比的变化,敏感点流速的变化以及工程前沿流态的改变。

2.1.1 各方案纳潮量的变化情况

大、中、小潮下各方案纳潮量的变化情况列于表 1。除一期工程外,其他各方案因令嵩鼓水道变窄,阻碍了潮水的进出,均使西海域的纳潮量减少。其中方案五涨落潮平均纳潮量约减少了 1.3%,方案二减少了 1.5%。

2.1.2 敏感点流速变化

根据评价所识别的敏感目标,在厦门湾各主要进港航道(港口航道资源)、东屿湾(临近规划港区所在海域,目前淤积严重)和大屿水道(保护东屿湾的重要潮流通道)等处选择敏感点(位置见图 1),用于预测流速变化及其可能造成的航道和滩涂的淤积效应。根据数值模拟计算结果,各岸线方案的流速变化结果简述如下。

(1) 一期工程对西海域的影响不大,主要影响为西海域北部海区(站位 M1、M2)大潮的涨落潮流,平均将减少约 1%;海沧进港航道流速增加,其中站位 2 增加约 8%,有利于规划港区前沿航道及港池水深维持,而海沧港区主航道(站位 3、4)增量不显著。

(2) 方案五的主要影响为马銮进港支航道(站位 M2)的涨落潮流平均将减少 2%;高鼓水道(站位 M4)的流速明显增大,增量约 4%;海沧进港航道流速变化与一期工程一致;大屿水道(站位 5)及东屿湾(站位 6 至站位 8)的平均流速变化均小于 1%,对比 1993 年及 2003 年的水深资料,港区规划对该水道影响较小,预计尚能保持冲淤平衡。

(3) 方案二各敏感点的变化趋势与方案五一致,只是个别站位变化量稍有不同,如大屿水道相对方案五和现状在大潮涨潮时增加 2.4%,最大涨潮流速相对方案五也有约 2%的增加。

(4) 方案四造成嵩鼓水道(M4 点)流速增量较少,只有 0.6%。

2.1.3 敏感点回淤强度变化

猴屿南航道为西海域进港航道多年来为最严重的淤积区,现开挖水深已达 11 m,其年淤量达到 0.65 m,采用刘家驹^[11]公式对其因流速变化引起的回淤强度进行计算,结果如表 2 所示。

表 2 猴屿南航道在各种方案下平均流速及年淤积量变化

项目	现状	一期工程	方案五	方案二	方案四
平均流速 /(m·s ⁻¹)	0.295	0.300	0.293	0.293	0.298
年淤积量 /(m·a ⁻¹)	0.65	0.61	0.68	0.68	0.63

由表 2 可见,方案五及方案二将使猴屿南航道淤积量增加 0.03 m/a,而一期工程及方案四条件下该处流速增大,淤积强度将减小。因此,对于主航道维护而言,以方案四最佳,一期工程其次,方案二和方案五都较为不利。

2.2 累积环境影响

2.2.1 对海水环境质量的影响

根据 2.1.1 的结果,除一期工程外,方案四、方案五和方案二将使西海域纳潮量分别减少 0.58%、1.30%和 1.50%(每个潮周期分别减少 1.9 × 10⁶、4.3 × 10⁶、5.1 × 10⁶ m³),纳潮量(表征海域环境容量)的下降意味着携带污染物能力减弱,从而将导致海湾内污染物累积,水质下降。

选取厦门海域的主要污染因子无机氮、活性磷以及 COD 作为评价污染累积效应的指标,对西海

表3 各方案造成的海湾污染物质量浓度增量

污染物	污染物质量浓度 C ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)			减少携带污染量 P / t			污染物质量浓度增量 C' ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)		
	涨潮 G_f	落潮 G_e	差值	方案四	方案五	方案二	方案四	方案五	方案二
COD	0.61	1.07	0.46	1.74	3.93	4.67	0.002 5	0.005 7	0.006 7
无机氮	0.24	0.37	0.13	0.49	1.12	1.32	0.000 7	0.001 6	0.001 9
活性磷	0.010	0.018	0.008	0.032	0.073	0.088	0.000 05	0.000 11	0.000 13

域污染物累积量进行计算,式(1)如下:

$$P = (C_e - G_f) \cdot T \quad (1)$$

式中: P 为每个潮周期中因海水带出海湾的污染物减少而造成的污染物在海湾内的累积量, t; C_e (G_f) 为落潮(涨潮)时的海水水质, mg/L ; T 为岸线方案引起的海湾纳潮量的减少值, 10^6 m^3 。由于污染物在西海域中累积,海水中污染物浓度相应增加,浓度增量由各方案污染累积量除以海水纳潮量得出,结果如表3。由于一期工程对西海域纳潮量影响不大,不予计算。

由表3可看出,方案二对于污染物的累积效应最为明显,每天海水减少带出 COD 4.67 t、无机氮 1.32 t 和活性磷 0.088 t,对海水水质各项指标浓度增加率在 0.7%~0.9%。方案五接近方案二。方案四造成的污染物的累积量相对较小,海水污染物浓度增加率在 0.2%~0.3%,对海域环境容量和海水环境质量影响较小。

2.2.2 对沉积物类型的影响

西海域海水流场流速的变化将改变海底沉积物类型:北部水流减慢,沉积物粒径细化,淤泥的面积扩大;海沧航道海水流速进一步增大,沉积物粒径变粗。港区规划建设对沉积物类型总的影 响是沉积物粒径的两极化,各方案的影响程度和水动力的变化程度一致。

2.2.3 对生物群落稳定性的影响

工程建设对海域生物群落稳定性的影响主要表现在两个方面:港区规划直接占用海域带来的累积影响。嵩屿港区各方案填海将占用的浅水域为九龙江河口与西海域海水交汇的回流及缓流区,风浪小,水下礁石多,是许多海洋生物种类的栖息地,也是中华白海豚觅食和栖息的良好场所,该水域被占用后,生活在其间的物种消失,中华白海豚活动场所缩小,而且这是不可逆的影响,无法恢复,也难以补偿;西海域环境容量下降和沉积物类型改变对底栖生物群落稳定性的影响。由于港区规划建设带来整个海域海水冲刷能力减弱,污染物在水体和沉积物中累积,海水水质和底质下降,可能使西海域生物种类数减少,生物物种多样性下降。同时,嵩屿港区规划建设使沉积物类型两极化,底栖生物多样性下降,群落结构和布局发生改变,底栖生物群落在较长

时间内将一直处于扰动状态。

2.2.4 各方案累积环境影响比较

以上累积环境影响的分析结果表明,一期工程对海水质量、沉积物类型以及生物群落稳定性等累积影响均较小,是可行的。从各种累积影响的程度看,方案四的不利影响最小,优于方案二和方案五。

3 结 论

目前,我国在海洋工程或港口规划过程中还很少有累积影响评价的成功案例,以及通用的技术方法和程序,CEA 正处于研究和发展的初级阶段。本文通过建立以数值模拟为基础和核心的 CEA 量化评估框架,其结果为规划岸线方案的选择提供了科学依据,能满足战略环境评价的需要。

与一般性环境影响相比,海域使用的 CEA 涉及人类活动直接或间接的环境效应在海洋生态系统各层次的响应规律,具有更大的不确定性和复杂性,因此需要人们加深对海湾生态过程的全面正确认识,从而为完善 CEA 的研究方法提供基础。

参考文献

- [1] Council on Environmental Quality. Considering Cumulative Effects Under the National Environmental Policy Act [R]. Washington D. C.: Executive Office of the President, 1997.
- [2] Larry W C, Kamth J. Questionnaire checklist for cumulative impacts[J]. Environmental Impact Assessment Review, 1995, 15: 311-339.
- [3] Peterson E B, Chan Y H, Peterson N M, et al. Cumulative effects assessment in Canada: an agenda for action and research[M]. Hull, Quebec: Canadian Environmental Assessment Research Council, 1987.
- [4] Sonntag N C, Everitt R R, Rattie L P, et al. Cumulative effects assessment: a context for further research and development [M]. Hull, Quebec: Canadian Environmental Assessment Research Councils, 1987.
- [5] Cocklin C, Parker S, Hay J. Notes on cumulative environmental change I: concepts and issues [J]. Journal of Environmental Management, 1992, 35(1): 31-49.
- [6] 彭应登. 区域开发环境影响评价[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1999: 85-86.
- [7] 马蔚纯, 林健枝, 陈立民, 等. 战略环境评价(SEA)及其研究进展[J]. 环境科学, 2000, 21(5): 107-112.
- [8] 周晓琴, 陈东辉, 陈亮. 累积影响评价在战略环境评价中的应用 [EB/OL]. [2005-03-20]. http://www.zjepc.com/article_mag/magarticlist.asp.
- [9] Jiang Y W, Wai O W H. Drying-wetting approach for 3D finite element sigma coordinate model for estuaries with large tidal flats[J]. Advances in Water Resources, 2005, 28(8): 779-792.
- [10] 江毓武, 方秦华, 张珞平. 海洋工程对海域水动力影响评估-数值模型解决方案[J]. 厦门大学学报: 自然科学版, 2004, 43(Z1): 263-268.
- [11] 刘家驹. 淤泥质海岸航道和港池的淤积计算(全国水运工程标准技术委员会系列文献 018) [M]. 北京: 人民交通出版社, 1990.

责任编辑: 赵 多 (修改稿收到日期: 2006-05-08)